

(12) NACH DEM VERGEBEN ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Juli 2004 (29.07.2004)

PCT

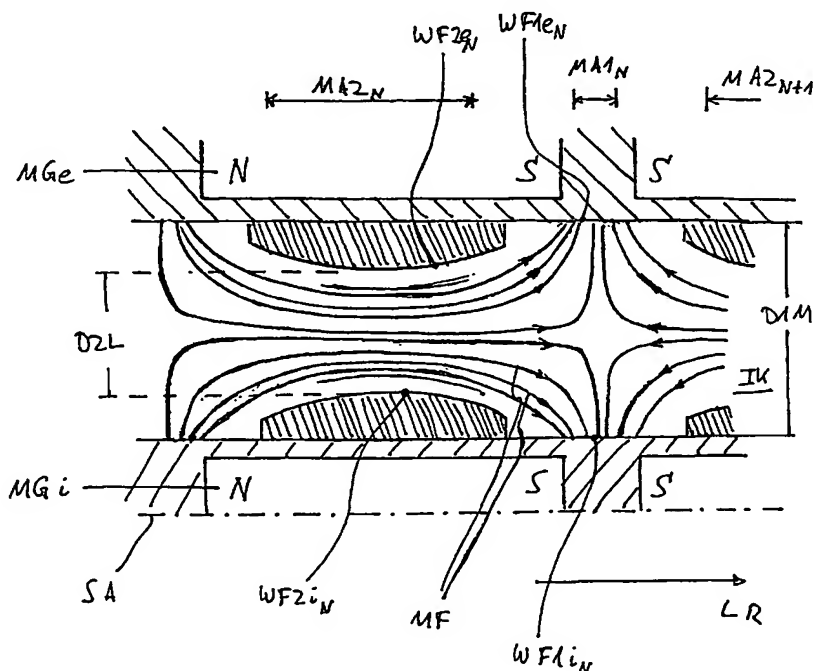
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/064461 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H05H 1/54**, (72) Erfinder; und
F03H 1/00 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KORNFELD, Günter**
[DE/DE]; Junginger Strasse 93, 89275 Elchingen (DE).
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP2003/014210** **COUSTOU, Gregory** [FR/DE]; Frauenstrasse 56, 89071
Ulm (DE). **KOCH, Norbert** [DE/DE]; Bockgasse 11,
(22) Internationales Anmeldedatum: 89073 Ulm (DE).
13. Dezember 2003 (13.12.2003)
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: **WEBER, Gerhard**; Postfach 2029, 89073 Ulm
(DE).
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
(30) Angaben zur Priorität: CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
103 00 776.8 11. Januar 2003 (11.01.2003) DE GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO,
von US): **THALES ELECTRON DEVICES GMBH** RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
[DE/DE]; Söflinger Strasse 100, 89077 Ulm (DE). UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ION ACCELERATOR ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung: IONENBESCHLEUNIGER-ANORDNUNG



(57) Abstract: Disclosed is an ion accelerator arrangement with a special magnetic field structure in which the magnetic field alternately extends in a mostly longitudinal and transversal direction. The ionization chamber for said ion accelerator arrangement has a specific geometry, the wall of the ionization chamber having a non-cylindrical shape that is adjusted to the course of the magnetic field.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Für eine Ionenbeschleuniger-Anordnung mit einer speziellen Magnetfeldstruktur mit abwechselnd überwiegend Längs- und Querverlauf des Magnetfelds wird eine Geometrie der Ionisationskammer mit dem Verlauf des Magnetfelds angepasster nicht zylindrischer Form der Kammerwand vorgeschlagen.

Bezeichnung der Erfindung:

Ionenbeschleuniger-Anordnung

- 5 Die Erfindung betrifft eine Ionenbeschleuniger-Anordnung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art.

Ionenbeschleuniger-Anordnungen sind beispielsweise im Einsatz zur Oberflächenbehandlung, insbesondere in der Halbleitertechnologie, oder als Antrieb
10 für Raumflugkörper. Ionen werden typischerweise aus einem neutralen Arbeitsgas für Antriebszwecke, insbesondere einem Edelgas erzeugt und beschleunigt. Zur Erzeugung und Beschleunigung von Ionen haben sich insbesondere zwei Bauprinzipien durchgesetzt.

- 15 Bei den Gitterbeschleunigern werden aus einem Plasma die positiv geladenen Ionen mittels einer Gitteranordnung, bei welcher ein erstes, an die Plasmakammer angrenzendes Gitter auf ein Anodenpotential und ein in Strahlaustrittsrichtung versetztes zweites Gitter auf einem negativeren Kathodenpotential liegen. Eine derartige Anordnung ist beispielsweise aus der US 3613370 bekannt.
20 Durch Raumladungseffekte ist die Ionenstromdichte einer solchen Beschleunigeranordnung auf niedrige Werte begrenzt.

- Eine andere Bauform sieht eine Plasmakammer vor, welche zum einen von einem elektrischen Feld zur Beschleunigung positiv geladener Ionen in Richtung einer Strahlaustrittsöffnung und zum anderen von einem Magnetfeld zur
25 Führung von Elektronen, welche zur Ionisation eines neutralen Arbeitsgases dienen, durchsetzt ist. Seit längerer Zeit gebräuchlich sind insbesondere Beschleunigeranordnungen mit einer ringförmigen Plasmakammer, in welcher das Magnetfeld vorwiegend radial verläuft und Elektronen unter dem Einfluss der –
30 elektrischen und magnetischen Felder sich auf geschlossenen Driftbahnen be-

lektrischen und magnetischen Felder sich auf geschlossenen Driftbahnen bewegen. Eine derartige Beschleunigeranordnung ist beispielsweise aus der US 5 847 493 bekannt.

5 Bei einem neuen Typ einer Ionenbeschleuniger-Anordnung mit elektrischen und magnetischen Feldern in einer Plasmakammer zeigt das Magnetfeld eine besondere Struktur mit überwiegend zur Längsrichtung parallelem Feldverlauf in Längsabschnitten zweiter Art und überwiegend zur Längsrichtung senkrech-
10 tem, insbesondere radialem Verlauf in Längsabschnitten erster Art, welche insbesondere einen auch als cusp bezeichneten Verlauf des Magnetfelds zeigen. Die Anordnung ist vorzugsweise mehrstufig aufgebaut mit alternierend aufeinanderfolgenden Längsabschnitten erster und zweiter Art. Derartige Ionenbeschleuniger-Anordnungen sind beispielsweise bekannt aus DE 100 14 033 A1 oder DE 198 28 704 A1. Bei einer aus der DE 101 30 464 A1 bekannten Plas-
15 mabeschleuniger-Anordnung sind an der Innenwand radial nach innen vorstehende Elektroden vorgesehen.

In JP 61 066 868 A ist ein RF-Ionengenerator mit an den Seitenwänden einer Plasmakammer angeordneter Anregungsspule gezeigt. Eine Permanentma-
20 gnetanordnung erzeugt ein Magnetfeld mit um die Spulenwindungen gekrümmten Feldlinien, um Plasma von den Spulenwindungen fern zu halten. Die US 6 060 836 A beschreibt einen Plasmagenerator mit einem achsial in eine Plasma-Kammer ragenden Hohlleiter, welchem HF-Leistung eines Magnetrons eingespeist ist und dessen in Innenleiter an einem in die Kammer ragenden
25 Ende eine Permanentmagnetanordnung trägt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Wirkungsgrad einer Ionenbeschleuniger-Anordnung weiter zu verbessern.

Die Erfindung ist im Patentanspruch 1 beschrieben. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung.

Die Erfindung geht aus von der an sich aus der DE 100 14 033 A1 bekannten
5 Magnetfeldstruktur, welche in der Ionisations-(oder Plasma-)Kammer in Längs-
richtung der Anordnung in einem Abschnitt zweiter Art eine überwiegend zur
Längsrichtung parallele Feldrichtung und in einem Abschnitt erster Art eine
demgegenüber stärkere, insbesondere überwiegende Feldkomponente senk-
recht zur Längsrichtung aufweist. Das Magnetfeld geht kontinuierlich und mo-
10 noton von einem Abschnitt erster Art in einen diesem benachbarten Abschnitt
zweiter Art über und umgekehrt, wobei die benachbarten Abschnitte erster und
zweiter Art in Längsrichtung beabstandet sein oder unmittelbar aneinander an-
schließen können. Die Längsrichtung einer Ionenbeschleuniger-Anordnung fällt
im wesentlichen mit der mittleren Bewegungsrichtung der beschleunigten Ionen
15 bzw. einer Symmetrieachse der Ionisationskammer zusammen.

Durch die Verringerung des Abstands zwischen einander senkrecht zur Längs-
richtung gegenüberstehender Wandflächen der die Ionisationskammer begren-
zenden Wände in dem Längsabschnitt zweiter Art wird das dem Arbeitsgas in
20 diesem Abschnitt zur Verfügung stehende Volumen gegenüber einer Ausführ-
ung mit gleichbleibendem Wandabstand reduziert und zugleich das Arbeitsgas
in der Mitte zwischen den gegenüberstehenden Wandflächen konzentriert.

Es zeigt sich überraschenderweise, dass hierdurch der Gesamtwirkungsgrad
25 der Anordnung, in welchen insbesondere der Ionisationswirkungsgrad und der
elektrische Wirkungsgrad eingehen, deutlich ansteigt.

Vorzugsweise ist der Abstand gegenüberstehender Wandflächen in dem Ab-
schnitt zweiter Art nicht nur zueinander sondern auch bezüglich einer insbe-

sondere zur Längsrichtung parallelen Mittellinie oder Mittelfläche verringert gegenüber dem Wandabstand in einem benachbarten Längsabschnitt erster Art.

Der minimale Wandabstand in einem Abschnitt zweiter Art ist vorteilhafterweise um wenigstens 15 %, vorzugsweise um wenigstens 20 %, insbesondere um wenigstens 25 % geringer als der maximale Wandabstand in einem benachbarten Abschnitt erster Art. Vorteilhafterweise ist wenigstens eine, vorzugsweise beide der sich gegenüberstehenden Wandflächen in einem Abschnitt zweiter Art zur Ionisationskammer hin versetzt, insbesondere in Form einer Wölbung mit einer in Längsrichtung kontinuierlich verlaufenden, vorzugsweise monoton gekrümmten Wandfläche.

Die einander gegenüberstehenden Wandflächen können isolierend aus dielektrischem Material bestehen oder metallisch oder teilweise metallisch sein, insbesondere in der Art, dass in dem Abschnitt bzw. Abschnitten zweiter Art eine metallische Wandfläche vorliegt, welche eine Zwischenelektrode auf festem oder gleitendem Potential bildet und in Längsrichtung durch isolierende Wandabschnitte begrenzt ist, und die Wandflächen in den Abschnitten erster Art elektrisch isolierend sind.

Vorteilhafterweise ist die Ionenbeschleuniger-Anordnung im Längsverlauf der Plasma-Kammer mehrstufig aufgebaut in der Art, dass mehrere Abschnitte erster Art alternierend mit Abschnitten zweiter Art aufeinanderfolgen, wobei vorzugsweise die Längskomponenten in durch einen Abschnitt erster Art getrennten Abschnitten zweiter Art abwechselnd entgegengesetzt sind, die Längskomponente des Magnetfelds somit bei Durchlaufen eines Abschnitts erster Art umkehrt. Eine derartige mehrstufige Magnetfeldstruktur ist aus dem Stand der Technik an sich bekannt. Die erfindungswesentliche Verringerung des Wandabstands kann dann in nur einem, mehreren oder allen Abschnitten

zweiter Art gegeben sein. Bei Vorliegen der Verringerung des Wandabstands in mehreren oder allen Abschnitten zweiter Art gegenüber benachbarten Abschnitten erster Art kann dabei auch das quantitative Ausmaß der relativen Verringerung von Abschnitt zu Abschnitt variieren. Vorzugsweise liegt eine Verringerung des Wandabstands wenigstens in dem in Längsrichtung der Anode nächsten Abschnitt zweiter Art vor und/oder ist bei quantitativer Variation über mehrere Abschnitte die Verringerung in diesem Abschnitt am stärksten.

Die Anode ist vorzugsweise am in Längsrichtung der Ionen-Austrittsöffnung entgegengesetzten Ende der Ionisationskammer angeordnet. Die Kathode ist vorteilhafterweise als Primärelektronenquelle ausgebildet, aus welcher Primärelektronen durch die Ionen-Austrittsöffnung in die Plasmakammer geleitet werden und/oder welche Elektronen zur Neutralisierung eines aus der Ionisationskammer austretenden Ionen- oder Plasmastrahls dienen, und vorzugsweise außerhalb der Ionisationskammer und gegen die Austrittsöffnung seitlich versetzt angeordnet.

Die erfindungsgemäße Ionenbeschleuniger-Anordnung kann sowohl zur Abgabe eines positiv geladenen Ionenstrahls als auch, insbesondere in der bevorzugten Anwendung im Antrieb eines Raumfahrzeugs zur Abgabe eines neutralen Plasmastrahls dienen. In anderer Anwendung können die beschleunigten Ionen insbesondere zur Behandlung von Festkörperoberflächen und oberflächennahen Schichten eingesetzt sein.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Abbildungen noch eingehend veranschaulicht. Dabei zeigt:

Fig. 1 einen Magnetfeldverlauf in einer Ionisationskammer,

Fig. 2 eine mehrstufige Anordnung.

Bei der in Fig. 1 skizzierten Anordnung ist der für die vorliegende Erfindung vorausgesetzte Magnetfeldverlauf in einer Ionisationskammer IK schematisch skizziert. Die Ionisationskammer sei als ringförmig rotationssymmetrisch um eine Mittel-Längsachse SA, welche in Längsrichtung LR der Anordnung liegt, angenommen. Eine bezüglich der Ionisationskammer radial innen liegende Magnetanordnung MG_i und eine radial außen liegende Magnetanordnung MG_e erzeugen in der Ionisationskammer IK ein Magnetfeld, welches wenigstens einen Längsabschnitt MA1_N erster Art und wenigstens einen diesem in Längsrichtung benachbarten Längsabschnitt MA2_N zweier Art aufweist. Vorzugsweise weist das Magnetfeld in der Ionisationskammer in Längsrichtung alternierend aufeinanderfolgend mehrere Längsabschnitte erster und zweiter Art auf wie in dem in Fig. 2 skizzierten Beispiel und wie in Fig. 1 durch einen weiteren Längsabschnitt MA2_{N+1} angedeutet.

Im Längsabschnitt zweiter Art MA2_N zeigt das Magnetfeld eine überwiegend zur Längsachse SA parallele Feldrichtung, wogegen im Längsabschnitt MA1_N erster Art das Magnetfeld eine demgegenüber größere radiale, d. h. senkrecht zur Längsachse gerichtete Komponente besitzt. Der Längsabschnitt MA1_N erster Art ist im Beispiel so gewählt, dass die radiale Feldkomponente deutlich überwiegt. Längsabschnitte erster und zweiter Art können unmittelbar aneinander anschließend definiert sein, sind im skizzierten Beispiel zur klaren Abgrenzung mit überwiegender Längskomponente im Abschnitt MA2_N und überwiegender Radialkomponente im Längsabschnitt MA1_N aber durch einen nicht näher bezeichneten Übergangsabschnitt beabstandet. Im Längsabschnitt MA2_N zweiter Art nimmt der Betrag des magnetischen Flusses von den seitlichen Kammerwänden zur Mitte hin ab, ebenso wie im Längsabschnitt erster Art der

magnetische Fluss an den Kammerwänden größer ist als in der Mitte zwischen gegenüberliegenden Wandflächen. Die soweit beschriebene Magnetfeldstruktur ist an sich, z. B. aus DE 10014033 A1 bekannt, ebenso Magnetanordnungen zur Erzeugung einer solchen Magnetfeldstruktur. Die Feldverteilung des Magnetfeldes in Fig. 1 ist lediglich schematisch und nicht quantitativ zu verstehen.

Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist nun, dass im Bereich des Längsabschnitts $MA2_N$ zweiter Art der radiale Abstand der einander senkrecht zur Längsachse SA gegenüberstehenden Wandflächen $WF2_{iN}$, $WF2_{eN}$ geringer ist als der radiale Wandabstand von Wandflächen $WF1_{iN}$, $WF1_{eN}$ im Längsabschnitt $MA1_N$ erster Art. Die lichte radiale Weite der Ionisationskammer ist damit im Längsabschnitt $MA2_N$ zweiter Art gegenüber dem Längsabschnitt $MA1_N$ erster Art reduziert. Vorzugsweise sind im Abschnitt $MA2_N$ beide gegenüberstehenden Wandflächen $WF2_{iN}$, $WF2_{eN}$ gegenüber den in Längsrichtung benachbarten Wandflächen $WF1_{iN}$, $WF1_{eN}$ radial zur Mitte der Ionisationskammer hin verschoben. Gegenüber einer Kammergeometrie mit in Abschnitten erster und zweiter Art gleichem radialem Wandabstand wird dadurch im Abschnitt $MA2_N$ eine Konzentration des Arbeitsgases, insbesondere auch der nicht ionisierten Atome im radialen inneren Bereich erzwungen, wo aufgrund geringeren magnetischen Flusses eine höhere Elektronendichte und damit höhere Ionisationswahrscheinlichkeit vorliegt.

Der Verlauf der Wandflächen in Längsrichtung kann in beiden Abschnitten jeweils parallel zur Längsachse SA sein mit einer Stufe oder Rampe als Übergang. Bevorzugt ist aber zumindest im Längsabschnitt $MA2_N$ zweiter Art ein nicht zur Längsachse SA paralleler Verlauf, welcher dem Feldlinienverlauf des Magnetfelds in diesen Längsabschnitt besser angenähert ist als ein zu SA paralleler Wandverlauf. Insbesondere kann die Wandfläche $WF2_{iN}$ und/oder $WF2_{eN}$ zur radialen Mitte der Ionisationskammer hin gewölbt sein mit einem

minimalen Wandabstand $D2L$, welcher in Längsrichtung zum benachbarten Abschnitt $MA1_N$ erster Art hin zunimmt. Der Verlauf der Wandfläche $WF2_{iN}$ und/oder $WF2_{eN}$ kann insbesondere kontinuierlich monoton gekrümmt oder einer solchen Form, z. B. mit mehreren geraden Teilverläufen angenähert sein.

5

In entsprechender Weise können die Wandflächen $WF1_{iN}$ und/oder $WF1_{eN}$ einen in Längsrichtung geraden oder gekrümmten Verlauf aufweisen, wobei bei diesen Flächen der vereinfachten Herstellung halber typischerweise ein zur Längsachse paralleler gerader Verlauf im Regelfall günstig ist.

10

Der radiale Wandabstand im Längsabschnitt $MA2_N$ zweiter Art bzw. bei nicht zu SA parallelem Wandverlauf der dortige minimale radiale Wandabstand $D2L$ ist vorzugsweise um wenigstens 15 %, vorzugsweise um wenigstens 20 %, insbesondere um wenigstens 25 % geringer als der Wandabstand im benachbarten Längsabschnitt erster Art bzw. bei nicht zu SA parallelem Verlauf der dortige maximale Wandabstand $D1M$, d. h. $D2L \leq 0,85 D1M$ bzw. $0,80 D1M$ bzw. $0,75 D1M$.

15

Die Wandflächen der Kammerwand können aus elektrisch isolierendem Material oder aus elektrisch leitendem Material oder auch teilweise aus elektrisch leitendem Material, insbesondere nicht magnetisierbarem Metall bestehen. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Wandflächen $WF2_{iN}$, $WF2_{eN}$ metallisch und die Wandflächen $WF1_N$, $WF1_{eN}$ isolierend. Die metallischen Wandflächen können dann vorteilhafterweise als Teile der Elektrodenanordnung Zwischenelektroden auf elektrischen Zwischenpotentialen zwischen den Potentialen einer Anode und einer Kathode bilden, wobei die Zwischenpotentiale vorgebbar sein können oder bei isolierten, nicht kontaktierten Zwischenelektroden sich im Betrieb gleitend einstellen. Bei metallischen Wandflächen $WF2_{iN}$, $WF2_{eN}$ kann insbesondere auch vorgesehen sein, dass metallische

20

25

Elektroden auf eine im wesentlichen zylindrische isolierende Kammerhülle auf oder eingesetzt und fixiert sind und durch ihre der Kammerhülle abgewandten, der Ionisationskammer und der gegenüberliegenden Wandfläche zugewandten Flächen die Wandflächen $WF2i_N$ bzw. $WF2e_N$ bilden.

5

In Fig. 2 ist eine in Längsrichtung mehrstufige Anordnung skizziert, bei welcher in an sich, z. B. aus DE 100 14 033 A1 bekannter Weise in Längsrichtung mehrere Längsabschnitte erster und zweiter Art alternierend aufeinanderfolgen, wobei zwei zu einem dazwischenliegenden Abschnitt erster Art ($MA1_N$ in Fig. 1) benachbarte Abschnitte zweiter Art ($MA2_N$, $MA2_{N+1}$ in Fig. 1) entgegengesetzte Längskomponenten des Magnetfelds zeigen. Während in Fig. 1 eine ringförmige Kammergeometrie um eine zentrale Mittel-Längsachse SA und eine innere und eine äußere Magnetanordnung M_{gi} , M_{ge} vorgesehen sind, ist in der Skizze nach Fig. 2 eine bevorzugte Kammergeometrie mit einfach zusammenhängender Querschnittsfläche der die Mittellängsachse SAZ enthaltenden Ionisationskammer IKZ, welche insbesondere im wesentlichen drehsymmetrisch um die zur Längsrichtung parallele Mittellängsachse SAZ sein kann, zugrunde gelegt. Die Magnetanordnung besteht in diesem Fall in wiederum an sich bekannter Weise lediglich aus einer die Kammerhülle umgebenden äußeren Magnetanordnung MG. Beide einander gegenüberstehenden Wandflächen gehören dann zu derselben um die Mittellängsachse SAZ geschlossenen und die Ionisationskammer seitlich umgebenden Kammerwand. Die Ionisationskammer zeigt eine Strahlaustrittsöffnung, aus welcher ein im Regelfall leicht divergierender Ionen- oder Plasmastrahl PB mit mittlerer Ionenbewegung in Längsrichtung LR austritt. Außerhalb der Ionisationskammer bei der Austrittsöffnung AU und seitlich gegen diese versetzt ist als Teil der Elektrodenanordnung eine Kathode KA, welche auf Kathodenpotential liegt und Elektronen emittiert, angeordnet. Ein Teil IE dieser Elektronen wird durch das elektrische Feld der Elektrodenanordnung in die Ionisationskammer geleitet und dient dort in be-

10

15

20

25

kannter Weise zur Ionisation des Arbeitsgases und dabei insbesondere auch der Erzeugung von Sekundärelektronen. Ein anderer Teil NE der von der Kathode emittierten Elektronen kann zur Neutralisierung eines positiv geladenen Teilchenstroms PB dienen.

5

In anderer vorteilhafter Ausführungsform ist keine externe Elektronenquelle zur Erzeugung von Primärelektronen für die Gasionisation und/oder für die Neutralisation eines Plasmastrahls mit überschüssiger positiver Ladung vorgesehen. Die Kathode kann dann insbesondere durch einen die Austrittsöffnung der Ionisationskammer umgebenden, auf Kathodenpotential liegendem Gehäuseteil gegeben sein.

10

Eine Anode A0 als Teil der Elektrodenanordnung ist an dem der Austrittsöffnung AU in Längsrichtung LR entgegengesetzten Ende der Ionisationskammer angeordnet und liegt auf Anodenpotential. Ein neutrales Arbeitsgas, für Antriebszwecke vorzugsweise ein schweres Edelgas wie Xenon (Xe) ist in die Ionisationskammer einleitbar, wofür in der Skizze eine anodenseitige zentrale Zuleitung eingetragen ist. Eine typische Verteilung eines aus Elektronen und positiven Gasionen bestehenden Plasmas ist in gekreuzter Schraffur in der Ionisationskammer eingezeichnet.

15

20

Die Magnetanordnung bildet in der Ionisationskammer IKZ ein Magnetfeld aus, welches in Längsrichtung alternierend aufeinanderfolgend Längsabschnitte MA11, MA12 erster Art und Längsabschnitte MA21, MA22, MA23 zweiter Art aufweist. Es sei angenommen, dass, wie skizziert, der in diesem Fall dem Durchmesser der Ionisationskammer gleiche Abstand gegenüberliegender Wandflächen in allen Längsabschnitten erster Art sowie in gegebenenfalls vorliegenden Übergangsabschnitten konstant gleich DZ sei.

25

In dem skizzierten Beispiel, welches der Anschaulichkeit halber mehrere Gestaltungsvarianten für die Längsabschnitte MA21, MA22, MA23 zweiter Art vereint zeigt, ist die Ionisationskammer im Längsabschnitt MA21 durch eine die zentrale Längsachse ringförmig umgebende Einwölbung mit einer Wandfläche WF21 auf einen minimalen Durchmesser D21L eingengt. Die Wandfläche WF21 sei als elektrisch isolierend angenommen. Im Längsabschnitt MA22 ist der Durchmesser der Ionisationskammer bis auf einen Wert D22L reduziert, wobei durch größere Bemessung von D22L gegenüber D21L einer eventuell auftretenden Aufweitung des Plasmas in der zweiten gegenüber der ersten Stufe Rechnung getragen werden kann und den elektrischen Wirkungsgrad beeinträchtigende Wandverluste gering gehalten werden können. Die Wandfläche WF22 oder die gesamte Durchmesserverengung in diesem Abstand sei metallisch und bilde eine erste Zwischenelektrode A1 auf einem festen Zwischenpotential. Im Abschnitt MA23 schließlich ist eine Elektrode A2 geringer radialer Dicke vorgesehen, welche den Durchmesser D23L in diesem Abschnitt nicht oder nicht nennenswert gegenüber DZ reduziert, und welche unkontaktiert im Betrieb gleitend ein Zwischenpotential einnimmt. Die Elektrodenanordnung kann auch in der Unterteilung in Längsrichtung von der Unterteilung des Magnetfelds in Längsabschnitte erster und zweiter Art abweichen.

20

Die vorstehend und die in den Ansprüchen angegebenen sowie die den Abbildungen entnehmbaren Merkmale sind sowohl einzeln als auch in verschiedener Kombination vorteilhaft realisierbar. Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern im Rahmen fachmännischen Könnens in mancherlei Weise abwandelbar. Insbesondere können die Wandflächen in den Abschnitten zweiter Art auf verschiedene andere Weisen geformt und dabei isolierend, elektrisch leitend oder auch in sich nur teilflächenweise elektrisch leitend sein. Die Abmessungen der einzelnen Längsabschnitte und/oder der Zwischenelektroden können von Stufe zu Stufe variieren. Merk-

25

male bekannter Ionenbeschleuniger-Anordnungen können mit den erfindungswesentlichen Merkmalen kombiniert werden. Der Querschnitt der Ionisationskammer kann auch von der drehsymmetrischen Form abweichen und eine langgestreckte Form annehmen.

Ansprüche:

1. Ionenbeschleuniger-Anordnung mit einer Ionisationskammer, einer Elektrodenanordnung und einer Magnetanordnung, wobei

5

- die Ionisationskammer in einer Längsrichtung eine Ionen-Austrittsöffnung aufweist und quer zur Längsrichtung durch wenigstens eine Seitenwand begrenzt ist und dass über eine von der Austrittsöffnung beabstandete Zu-

10

leitungsöffnung Arbeitsgas in die Ionisationskammer einleitbar ist,
- die Elektrodenanordnung wenigstens eine Kathode und eine Anode enthält und in der Ionisationskammer ein elektrisches Feld zur Beschleunigung von positiv geladenen Arbeitsgas-Ionen in Richtung der Austritts-

15

öffnung erzeugt,
- die Magnetanordnung in der Ionisationskammer ein Magnetfeld erzeugt, welches in Längsrichtung wenigstens einen Längsabschnitt zweiter Art mit im wesentlichen zur Längsrichtung paralleler Magnetfeldrichtung und einen diesem benachbarten Längsabschnitt erster Art mit demgegenüber höherem Anteil der Feldkomponente senkrecht zur Längsrichtung auf-

20

weist,
- der Wandabstand zwischen einander gegenüberstehenden Wandflächen in dem Längsabschnitt zweiter Art geringer ist als in dem Längsabschnitt erster Art,

25

dadurch gekennzeichnet, dass im Längsabschnitt zweiter Art der Wandverlauf in Längsrichtung eine monoton gekrümmte Wölbung zur Ionisationskammer hin aufweist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der minimale Wandabstand im Längsabschnitt zweiter Art um wenigstens 15 %, insbesondere um wenigstens 25 % geringer ist als der maximale Wandabstand im Längsabschnitt erster Art.

5

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Längsabschnitte erster und zweiter Art alternierend aufeinanderfolgen.

10

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Längsabschnitt erster Art eine Richtungsumkehr der Längskomponente des Magnetfelds eintritt.

15

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kammerwand in einem Längsabschnitt zweiter Art zumindest teilweise durch eine Zwischenelektrode gebildet ist.

20

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode an dem in Längsrichtung der Austrittsöffnung entgegengesetzten Ende der Ionisationskammer angeordnet ist.

25

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode als Primärelektronenquelle ausgebildet und außerhalb der Ionisationskammer seitlich gegen die Austrittsöffnung versetzt angeordnet ist.
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode als Primärelektronenquelle ausgebildet und außerhalb der Ionisationskammer seitlich gegen die Austrittsöffnung versetzt angeordnet ist.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass keine externe Elektronenquelle als Neutralisator oder Primärelektronenquelle vorgesehen ist.

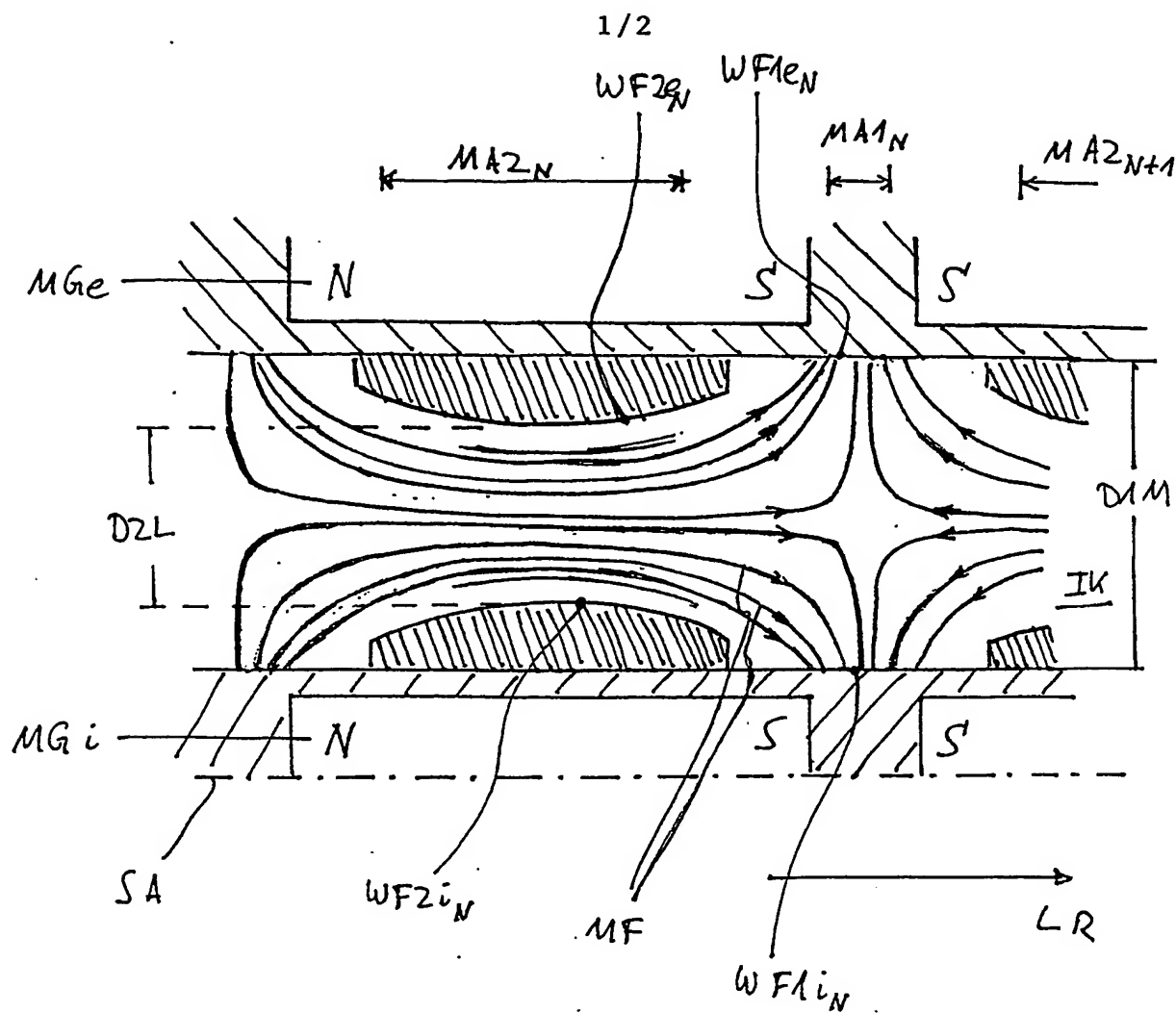


Fig. 1

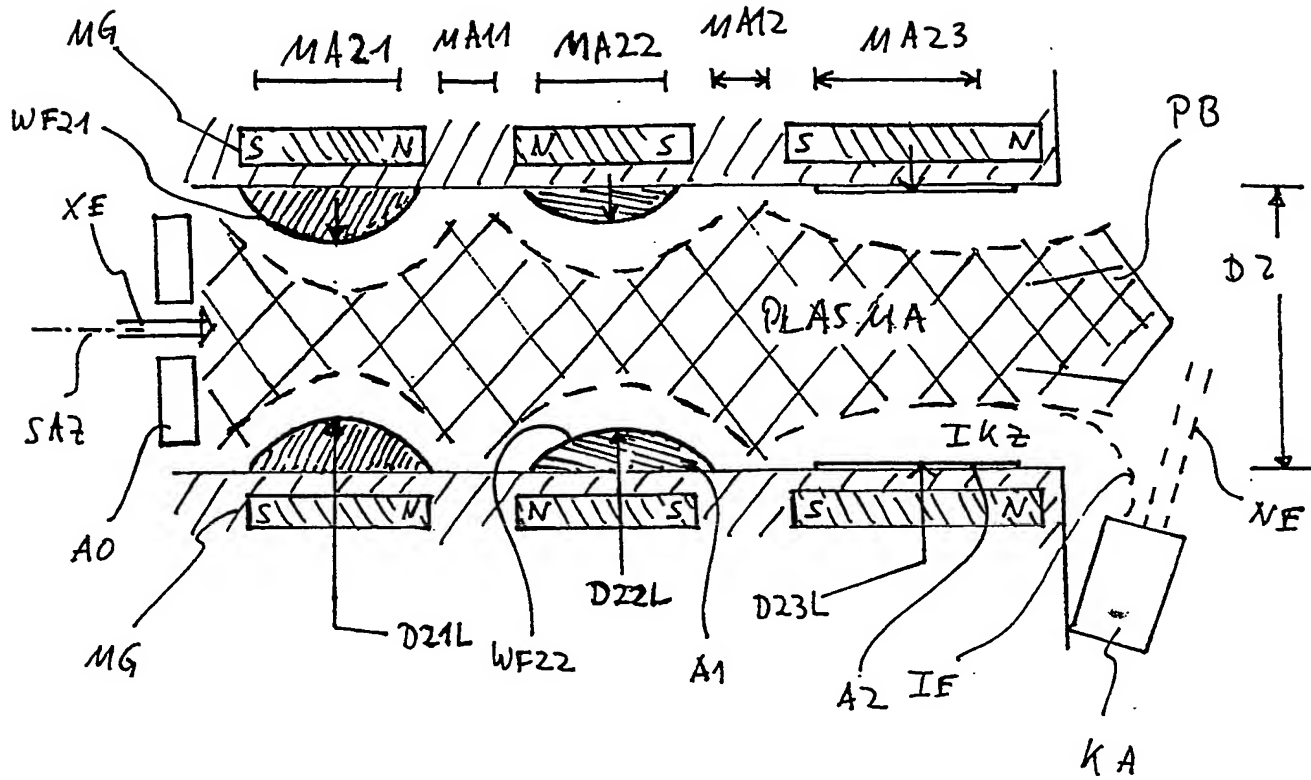


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/14210

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H05H1/54 F03H1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 H05H F03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 100 14 033 A (THOMSON TUBES ELECTRONIQUES GM) 4 October 2001 (2001-10-04) cited in the application the whole document	1, 3-8
Y	US 4 495 631 A (LACOUR BERNARD ET AL) 22 January 1985 (1985-01-22) column 2, line 23 - line 46 figures 1,3	1, 3-8
A	DE 101 30 464 A (THALES ELECTRON DEVICES GMBH) 2 January 2003 (2003-01-02) cited in the application the whole document	1, 3-9
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 March 2004

Date of mailing of the international search report

05/04/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Capostagno, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/JP 03/14210

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 00/01206 A (SEIDEL HARALD ; WEGENER JUERGEN (DE); KORNFELD GUENTER (DE); THOMSON T) 6 January 2000 (2000-01-06) cited in the application the whole document -----	1,3-6,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/JP 03/14210

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10014033	A	04-10-2001	DE 10014033 A1	04-10-2001
			AU 6004901 A	03-10-2001
			CN 1418290 T	14-05-2003
			WO 0171185 A2	27-09-2001
			EP 1269020 A2	02-01-2003
			JP 2003528424 T	24-09-2003
			US 2003048053 A1	13-03-2003
US 4495631	A	22-01-1985	FR 2500220 A1	20-08-1982
			FR 2512285 A2	04-03-1983
			CA 1153454 A1	06-09-1983
			DE 3264478 D1	08-08-1985
			DK 65482 A	17-08-1982
			EP 0058389 A2	25-08-1982
			JP 1459675 C	28-09-1988
			JP 57152176 A	20-09-1982
			JP 59010077 B	06-03-1984
			NO 820416 A ,B,	17-08-1982
DE 10130464	A	02-01-2003	DE 10130464 A1	02-01-2003
			WO 03000550 A1	03-01-2003
WO 0001206	A	06-01-2000	DE 19828704 A1	30-12-1999
			CN 1314070 T	19-09-2001
			WO 0001206 A1	06-01-2000
			EP 1123642 A1	16-08-2001
			JP 2002519577 T	02-07-2002
			US 6523338 B1	25-02-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/14210

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H05H1/54 F03H1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H05H F03H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 100 14 033 A (THOMSON TUBES ELECTRONIQUES GM) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1,3-8
Y	US 4 495 631 A (LACOUR BERNARD ET AL) 22. Januar 1985 (1985-01-22) Spalte 2, Zeile 23 - Zeile 46 Abbildungen 1,3	1,3-8
A	DE 101 30 464 A (THALES ELECTRON DEVICES GMBH) 2. Januar 2003 (2003-01-02) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1,3-9
	----- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. März 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/04/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Capostagno, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGEKÜNDIGTE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 00/01206 A (SEIDEL HARALD ; WEGENER JUERGEN (DE); KORNFELD GUENTER (DE); THOMSON T) 6. Januar 2000 (2000-01-06) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,3-6,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/JP 03/14210

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10014033	A	04-10-2001	DE 10014033 A1	04-10-2001
			AU 6004901 A	03-10-2001
			CN 1418290 T	14-05-2003
			WO 0171185 A2	27-09-2001
			EP 1269020 A2	02-01-2003
			JP 2003528424 T	24-09-2003
			US 2003048053 A1	13-03-2003
<hr/>				
US 4495631	A	22-01-1985	FR 2500220 A1	20-08-1982
			FR 2512285 A2	04-03-1983
			CA 1153454 A1	06-09-1983
			DE 3264478 D1	08-08-1985
			DK 65482 A	17-08-1982
			EP 0058389 A2	25-08-1982
			JP 1459675 C	28-09-1988
			JP 57152176 A	20-09-1982
			JP 59010077 B	06-03-1984
			NO 820416 A ,B,	17-08-1982
<hr/>				
DE 10130464	A	02-01-2003	DE 10130464 A1	02-01-2003
			WO 03000550 A1	03-01-2003
<hr/>				
WO 0001206	A	06-01-2000	DE 19828704 A1	30-12-1999
			CN 1314070 T	19-09-2001
			WO 0001206 A1	06-01-2000
			EP 1123642 A1	16-08-2001
			JP 2002519577 T	02-07-2002
			US 6523338 B1	25-02-2003